

## **Modelação hidráulica e aplicação de uma matriz de intensidade-probabilidade para a definição da perigosidade a cheias: o caso de estudo do rio Uíma (Santa Maria da Feira, Portugal)**

Inês Marafuz<sup>(a)</sup>, Rui Adelino<sup>(b)</sup>, António Gomes<sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> CEGOT – Faculdade de Letras da Universidade do Porto, ines.mfuz@gmail.com

<sup>(b)</sup> Divisão de Planeamento, Câmara Municipal de Santa Maria da Feira, rui.adelino@urbanfeira.net

<sup>(c)</sup> CEGOT – Faculdade de Letras da Universidade do Porto, albgomes@gmail.com

### **Resumo**

A aprovação da Diretiva 2007/60/CE reforçou a necessidade de se produzir cartografia de suporte à gestão do risco de inundação. Neste âmbito, apresenta-se um ensaio metodológico baseado na aplicação de um modelo hidráulico com recurso ao Hec-Ras, e no estabelecimento de uma matriz de intensidade-probabilidade. A matriz permitiu relacionar parâmetros hidráulicos como a velocidade e a altura da coluna de água com a frequência de ocorrência de cheias, de forma a obter-se a perigosidade a cheias num setor do rio Uíma (Santa Maria da Feira, Portugal). Os resultados mostram que a perigosidade é maior nos segmentos do rio onde existem pontes, estruturas que funcionam como obstáculos à circulação da água e que promovem a subida do nível da água a montante e aumento da sua velocidade a jusante. A identificação de áreas com um elevado grau de perigosidade e dos elementos expostos é essencial para o ordenamento do território.

**Palavras-chave:** Hec-Ras, matriz de intensidade-probabilidade, perigosidade e cheias, elementos expostos, Diretiva 2007/60/CE

### **1. Introdução**

A aprovação da Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 23 de Outubro de 2007, reforçou, entre outros aspetos, a necessidade de se efetuar uma avaliação preliminar do risco de inundação e de se produzir cartografia específica de suporte à gestão destes episódios, devido ao aumento da frequência e magnitude das cheias bem como das perdas humanas e prejuízos materiais que se têm registado um pouco por toda a Europa (Alphen et al., 2009; Barredo, 2007). Segundo as orientações da Diretiva, todos os estados membros deverão produzir cartas de zonas inundáveis e cartas de riscos de inundações com a indicação das potenciais consequências, informação que servirá de base para a elaboração dos planos de gestão dos riscos de inundação até 2015. Em Portugal, concretamente, têm sido apresentados alguns projetos relacionados com esta temática, nomeadamente, o projeto DISASTER (<http://riskam.ul.pt/disaster/>) que compila numa base de dados SIG todas as ocorrências de origem hidro-geomorfológica que se registaram entre 1865 e 2010, com consequências diretas sobre a população, nomeadamente, pelo número de mortes feridos, desaparecidos e deslocados ou desalojados (Santos et al., 2014). Um outro exemplo é o projeto CIRAC – Cartas de Inundação e Risco em Cenários de Alterações Climáticas (<http://cirac.apseguradores.pt/>) que resulta de uma parceria entre a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e a Associação Portuguesa de Seguradores (APS) e que avançou com a avaliação do risco de cheias, reforçando a sua importância estratégica para o setor segurador. Neste projeto

têm sido desenvolvidos estudos sobre a vulnerabilidade social e física e realizada modelação hidrodinâmica, com a finalidade de se definirem zonas inundáveis e de se produzir cartografia de risco (Dias et al., s/d).

Além destes estudos, o ensaio metodológico apresentado no presente trabalho também visa dar resposta a alguns dos objetivos da referida Diretiva. O principal objetivo deste ensaio é a determinação da perigosidade à ocorrência de cheias com base na aplicação de uma matriz de intensidade-probabilidade. Da modelação hidráulica, realizada para alcançar este fim, resultaram dois parâmetros: a velocidade e a altura da coluna de água para diferentes períodos de retorno. No final, identificam-se os elementos expostos por classe de perigosidade. Os resultados obtidos foram validados com base no material de campo relativo às cheias registadas no ano de 2001. A metodologia apresentada poderá ser um modelo de base para os estudos que os municípios portugueses terão de efetuar de forma a cumprirem o estipulado na Diretiva 2007/60/CE, já que, segundo Moel et al. (2009), Portugal era um dos países europeus em que a elaboração de cartografia de perigosidade a cheias aplicada à gestão do risco permanecia/permanece pouco desenvolvida.

## 2. Metodologia

O ensaio metodológico foi realizado num setor da bacia hidrográfica do rio Uíma, localizado no concelho de Santa Maria da Feira, no Norte de Portugal (figura 1). O segmento do rio Uíma considerado para a modelação tem um comprimento de 5,1 km, distando 11 km da sua cabeceira. Neste setor, a altitude máxima é de 113 m e a mínima 279,8 m e o declive médio é de 5,9%. Os valores da precipitação média anual variam entre 1400 e 1800 mm, aumentando para sudoeste (Daveau, 1977).

A modelação hidráulica do setor em estudo foi realizada no *software Hec-Ras* que requer como dados de entrada os elementos geométricos da planície de inundação e do rio, criados através de um modelo digital de terreno que deverá ser o mais detalhado possível para se obterem resultados rigorosos, e os valores dos caudais de ponta de cheia. Na geração do MDT usou-se os dados relativos às curvas de nível com equidistância de 1m, os pontos cotados, o edificado, a rede viária e os muros. Com base no MDT, criaram-se os elementos geométricos, nomeadamente, o centro geométrico do curso de água, as margens, a direção do fluxo de água, os perfis transversais, o edificado, como obstáculo à circulação da água e o uso do solo (COS 2007) com a associação dos valores de Manning (Van der Sande, 2003). Como referido anteriormente, a modelação no *Hec-Ras* requer ainda os valores dos caudais máximos de cheia, calculados com base na fórmula cinemática de Giandotti para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos. No setor em estudo o caudal máximo de cheia para um período de retorno de 10 anos é de 172,3 m<sup>3</sup>/s, em 50 anos é de 253 m<sup>3</sup>/s e para uma cheia centenária é de 286,2 m<sup>3</sup>/s. Esta informação foi processada no *Hec-Ras* e exportada novamente para o *ArcGis* para a obtenção e visualização dos resultados, nomeadamente, dos perímetros de inundação, da velocidade e da altura da coluna de água para os períodos de retorno considerados.

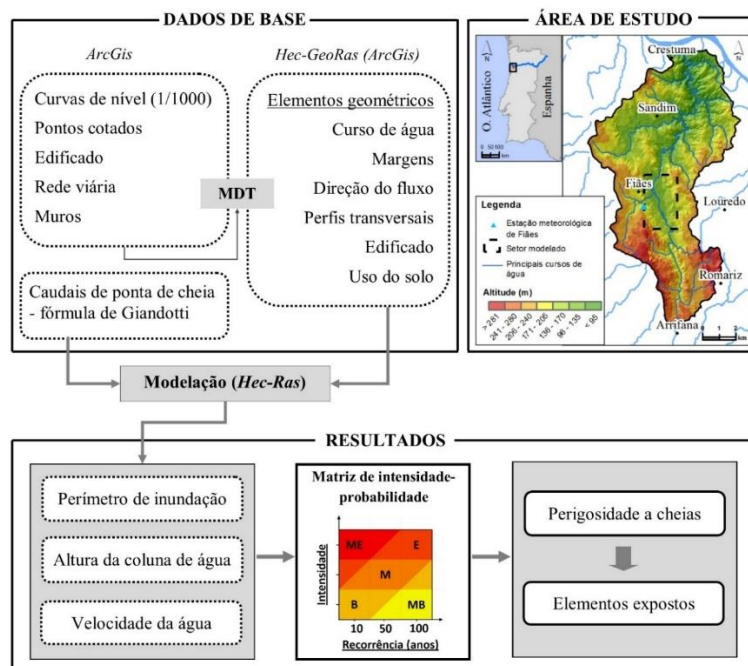


Figura 1 – Esquema metodológico.

Por fim, estabeleceu-se uma matriz de intensidade-probabilidade (figura 1) que permitiu relacionar a intensidade (velocidade e altura da coluna de água) com a recorrência dos eventos, com o intuito de se determinar a perigosidade a cheias no setor (Merz et al., 2007; Moel et al., 2009). Assim, normalizaram-se os parâmetros para uma escala comum de 0 a 1 e procedeu-se à ponderação dos mesmos com base na matriz. Quanto menor o período de retorno e maior a intensidade, maior o peso atribuído. Da multiplicação dos *rasters* ponderados da velocidade e da altura da coluna da água resultou o mapa da perigosidade a cheias. Por fim, foram identificados os elementos expostos, designadamente o edificado e os lanços de estrada, por classe de perigosidade à ocorrência de cheias.

### 3. Resultados

Os resultados da modelação indicam que as maiores subidas do nível da água ocorrem nos setores localizados a montante, onde o vale é mais estreito, e no final do setor modelado devido à presença de duas pontes que condicionam a passagem da água para jusante. A altura máxima que a água pode atingir para um período de retorno de 100 anos é de 5,5 m, valor que diminui para 4,6 m recorrente (T10anos). A velocidade máxima da água no setor modelado é de 6,1 m<sup>3</sup>/s para um período de retorno de 100 anos. Do cruzamento destes dois parâmetros com a recorrência das cheias, resultou o mapa da perigosidade a cheias (figura 2A), tendo por base a matriz de intensidade-probabilidade apresentada na figura 2B.

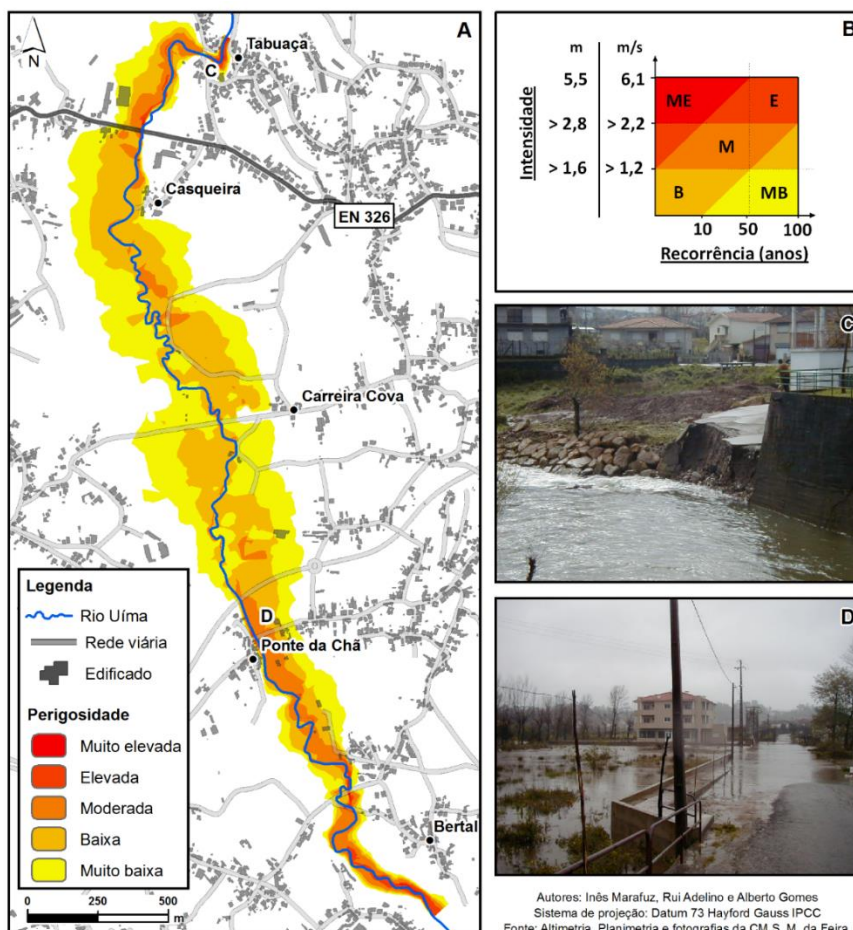


Figura 2 – (A) Perigosidade a cheias no setor em estudo; (B) matriz de intensidade-probabilidade aplicada; (C) fotografia relativa à destruição provocada pela cheia de 2001 na localidade de Tabuaça; (D) fotografia da cheia de 2001 na localidade de Ponte da Chã.

Como se pode observar na figura 2C, os locais com maior grau de perigosidade encontram-se a jusante, em Tabuaça, no segmento do rio que cruza com a estrada nacional 326, e no setor montante que é marcado por um vale mais apertado. Com um grau de perigosidade elevado assinala-se a localidade de Ponte da Chã que, como é visível na figura 2D, as cheias afetam habitações e podem tornar a estrada intransitável. Na área modelada existem 56 habitações implantadas em áreas afetadas por cheias, embora nenhuma se encontre em locais de perigosidade elevada ou muito elevada e 55 lanços de estradas potencialmente afetados, salientando-se o lanço da estrada nacional 326.

#### 4. Conclusões

A metodologia usada possibilitou a definição da perigosidade a cheias de forma rigorosa e de acordo com um dos requisitos expostos na Diretiva 2007/60/CE. Um dos elementos essenciais neste trabalho foi a cartografia de base utilizada, à escala 1/1000, que contribuiu para a qualidade dos resultados da modelação. Em trabalhos futuros, os resultados serão melhorados com a inclusão do desenho das pontes existentes que interferem com a dinâmica do escoamento fluvial e com o contributo do caudal dos afluentes do rio Uíma. Para além disso, a

cartografia referente às áreas ribeirinhas poder ser melhorada com elementos do terreno que não estejam incluídos na mesma e que possam influenciar erroneamente os resultados.

A metodologia aplicada visa ser um contributo para os municípios portugueses que terão de efetuar estudos semelhantes aos que se apresentam, de forma a dar cumprimento ao estipulado na Diretiva. Por outro lado, os resultados apresentados são importantes sob o ponto de vista do ordenamento do território e da prevenção/proteção do risco, pela identificação de áreas problemáticas em termos de perigosidade e dos elementos expostos. De referir ainda a relevância das matrizes de intensidade-probabilidade na mitigação dos episódios de cheia, sendo o seu estabelecimento uma mais-valia para as autarquias, para as seguradoras e para a comunidade em geral.

## 5. Agradecimentos

Os nossos agradecimentos à Câmara Municipal de Santa Maria da Feira pela cedência de cartografia de base, à escala 1/1000, nomeadamente a altimetria e a planimetria do setor em estudo.

## 6. Bibliografia

Alphen, J. Van, Martini, F., Loat, R., SLOMP, R., PASSCHIER, R. Flood risk mapping in Europe, experiences and best practices. *Journal of Flood Risk Management*, v. 2, issue 4, p. 285-292, 2009. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1753-318X.2009.01045.x/pdf> [Acedido em 30 de junho de 2014]

Barredo, J.I. (2007). Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Natural Hazards*. 42 (1), 125 – 148. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-006-9065-2> [Acedido em 30 de junho de 2014]

Daveau, S. (1977). *Répartition et rythme des précipitations au Portugal*. (pp. 1-192). Lisboa: Centro de Estudos Geográficos.

Dias, L., Braunschweig, F., Grosso, N., Costa, H., Garrett, P. (s/d). Guia metodológico para a produção de cartografia de risco de inundações. Versão preliminar, CIRAC. <http://cirac.apseguradores.pt/outputs/guia-metodologico/guia-risco.pdf>

Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2007, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações. Jornal Oficial da União Europeia, L. 288, 27-34.

Merz, B., Thielen, A. H., Gocht, M. (2007). Flood risk mapping at the local scale: concepts and challenges. *Flood Risk Management in Europe*, 25, 231-251. Disponível em: [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4020-4200-3\\_13](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4020-4200-3_13) [Acedido em 1 de julho de 2014]

Moel, H. de, Alphen, J. van, Aerts, J. C. J. H. (2009). Flood maps in Europe – methods, availability and use. *Nat. Hazards Earth Syst.* 9, 289-301. Disponível em: <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/289/2009/> [Acedido em 1 de julho de 2014]

Santos, P.P., Tavares, A. O., Zêzere, J. L. (2014). Risk analysis for local management from hydro-geomorphologic disaster databases. *Environmental Science & Policy*. 40, 85-100. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901114000021> [Acedido em 1 de julho de 2014]

Van der Sande, C. J., De Jong, S. M., De Roo, A. P. J. (2003). A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 4, 217-229. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243403000035> [Acedido em 2 de julho de 2014]